



НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В.А. ТРОИЦКИЙ

ИЭС им.Е.О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Цифровые технологии получают все более широкое применение в различных областях техники, в том числе при радиационном контроле качества сварных соединений. В работе показана высокая дефектоскопическая эффективность флэш-радиографии, радиографии без промежуточных носителей информации (пленок, запоминающих пластин), которая обеспечивает низкую стоимость и возможность многоракурсного наблюдения в реальном времени внутренних дефектов сварных соединений. При этом на порядок сокращается скорость контроля. Описана портативная аппаратура для реализации данной технологии, позволяющая достигнуть чувствительность до 0,1 % толщины просвечиваемого металла и разрешение, превышающее 10 пар линий на мм. Библиогр. 11, рис. 4.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, флэш-радиография, цифровое изображение, рентгентелевизионная система, сцинтиллятор, ПЗС-матрица, плоскпанельный детектор, внутренние дефекты сварных соединений

Наиболее распространенным видом неразрушающего контроля (НК) качества сварных соединений, материалов и изделий является радиационный контроль. Он применим к изделиям из любых материалов, любой геометрии и толщины. Из-за наглядности результатов радиационным методам отдают предпочтение как при контроле качества сварных и паяных соединений, так и контроле качества литья. Этот метод используется для оценки достоверности других методов НК.

В последние годы произошли качественные изменения в системах радиационного НК, прежде всего благодаря появлению новых многоэлементных полупроводниковых детекторов радиационных изображений, а также интенсивному внедрению цифровых технологий получения, обработки и анализа изображений. При использовании таких детекторов ионизирующее излучение, прошедшее через контролируемый объект и несущее информацию о внутренних его дефектах, с помощью электронных средств преобразуется в массив электрических сигналов, которые затем оцифровываются, обрабатываются и используются для формирования цифрового изображения (ЦИ) контролируемого объекта. ЦИ объекта содержит информацию о его внутренней структуре и формируется непосредственно во время просвечивания, т.е. в реальном времени. Такой метод радиационного контроля называют цифровой радиографией или флэш-радиографией [1]. Это фактически портативное рентген-телевидение с электронной записью информации, которая без дополнительной обработки может быть выставлена в интернете.

Отличительной особенностью флэш-радиографии является отсутствие промежуточных носите-

лей информации (радиографических пленок, полупроводниковых селеновых пластин, запоминающих пластин с фотостимулируемой памятью), которые сейчас широко применяются в сварочном производстве. Они требуют длительных операций экспонирования, обработки и специальных устройств для считывания информации. Соответственно отсутствие таких промежуточных носителей позволяет на порядок повысить производительность и снизить стоимость контроля качества.

НК на основе портативной рентгентелевизионной техники, цифровой обработки изображений принципиально изменяет технологию, увеличивает распространение самого достоверного радиационного НК. В последнее время понятия «цифровая радиография», ЦИ нашли широкое распространение. Аппаратно-программные комплексы обработки рентгеновских пленок, их ЦИ находят все большее распространение [2–6]. Сейчас ЦИ получают тремя разными технологиями (рис. 1–3), приемы их обработки являются общими, и это является важным направлением в современной радиационной дефектоскопии. Чаще всего ЦИ получают оцифровкой рентгенограмм. Реже при обработке скрытого изображения, считываемого с запоминающих пластин многократного использования, либо от цифровых детекторов флэш-радиографии.

Полученное любым из трех указанных способов ЦИ должно быть одинаково интерпретировано. Результаты обработки ЦИ радиографии должны быть не хуже по чувствительности и разрешающей способности, чем результат, получаемый на негатоскопе от радиографической пленки, т.е. изображения на ЦИ стандартных эталонных образцов должны быть идентичны изображениям на рентгеновских пленках.



Рис. 1. Традиционная схема радиографического контроля с использованием пленки и оцифровки рентгенограмм

Способы получения ЦИ результатов радиационного контроля в электронном виде разные, но принципы обработки и последующей расшифровки этих изображений одинаковые [1–7].

На рис. 1 приведена классическая технологическая схема получения ЦИ за счет оцифровки пленочных рентгенограмм. Эта технология распространена во всем мире, требует подготовки кассеты с пленкой и экранами. После просвечивания следуют процедуры химической обработки, сушки пленки, считывание информации на негатоскопе и оцифровывание результатов с помощью соответствующего компьютерного комплекса. Этой длительной и дорогой технологией пользуются во всех отраслях промышленности в основном из-за возможности компактного архивирования результатов НК в электронном виде и для получения дополнительной информации, которую нельзя получить без оцифровки.

На рис. 2 приведена схема более совершенной технологии получения ЦИ на основе запоминающих пластин. По сравнению с предыдущей схемой получения ЦИ данная технология обеспечивает возможность многократного использования промежуточного носителя информации. Здесь отсутствует мокрый процесс проявки. Это ускоряет контроль, но не удешевляет его, требует более высокой квалификации персонала, много времени на вспомогательные операции и дорогого считывающего оборудования. Часто запоминающие пластины имеют собственные дефекты.

Высоко оценивая возможности получения дополнительной информации при обработке ЦИ и архаичность оцифровки пленочных изображений, мировые производители пленки, такие фирмы как «Agfa», «Fudje», «Kodak» и др. пошли по пути замены пленки на запоминающие полупроводниковые пластины многократного использования.

На рис. 3 приведена схема технологии мгновенной (флэш) цифровой радиографии на основе флуороскопических и твердотельных детекторов [1–3]. Это самый быстрый и самый дешевый способ получения ЦИ внутренних дефектов сварных соединений, не требующий обрабатывающего и считывающего оборудования и соответствующего вспомогательного времени.

Оба новых вида беспленочного радиационного контроля (рис. 2, 3) могут давать результаты лучше, чем результаты оцифрованного изображения, полученного с помощью рентгеновской пленки.

Качество рентгеновского изображения определяется по эталонам чувствительности (ГОСТ 7512–82). Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля осуществляется по ГОСТ 23055–78. Известно, что чем больше плотность почернения, чем больше экспозиция, тем больше информации содержит экспонированная пленка. Поэтому для оцифровки пленок, получения информативных их ЦИ нужен хороший сканер. Распространенные считывающие устройства, недорогие сканеры не могут обеспечить приемлемого качества оцифровки рентгеновских снимков, если их относительная плотность почернения выше, чем 3. Все попытки получения удовлетворительных ЦИ от более плотных пленок не увенчались успехом. Поэтому в пленочном варианте (рис. 1) удовлетворительное ЦИ возможно, если оптическая плотность пленок находится только в диапазоне 1,5...2,5. При таких значениях шумы оцифровщика не вносят непоправимых искажений в ЦИ. Опыт оцифровки пленочных снимков с плотностью 3...3,2 уже показывает неудовлетворительные результаты, трудно воспроизводится тонкая информация. Например, теряются изображения мелких пор диаметром менее 0,2 мм, трещины с малым раскрытием. Таким образом, оцифровка пленок имеет существенные ограничения. Часть дефектов, обнаруживаемых с помощью негатоскопа, не обнаруживаются

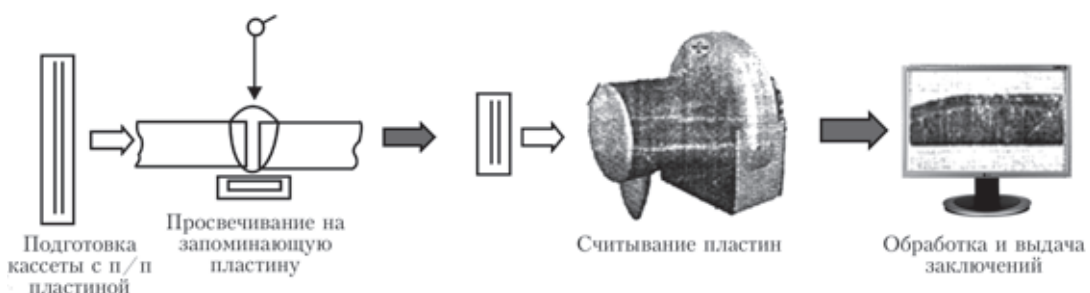


Рис. 2. Схема технологии просвечивания с использованием запоминающей пластины



ся на ЦИ. Это существенный недостаток традиционной пленочной радиографии.

Беспленочные технологии по схемам рис. 2, 3 не имеют этого недостатка, они отличаются большим динамическим диапазоном, что расширяет возможности НК. Опыт анализа ЦИ по технологическим схемам рис. 2 и 3 подтвердил, что выявляемость мелких пор, трещин и различных включений в сварных соединениях превышает информацию о них на пленке. Особенно велики перспективы технологии флэш-радиографии по рис. 3 на основе твердотельных или оптоэлектронных преобразователей, где после компьютерной обработки ЦИ есть возможность получить чувствительность до 0,1 % и выполнения контроля в движении. При этом повышается выявляемость дефектов за счет того, что человеческий глаз лучше различает движущиеся мелкие образы, чем в статике. При отсутствии промежуточных носителей информации во время просвечивания по схеме рис. 3 есть возможность изменять его направление, т.е. присутствует томографический эффект. Для трех технологий (рис. 1–3) полученное ЦИ легко архивируется, передается по интерне-



Рис. 3. Схема просвечивания без промежуточных носителей информации

ту. Скорость, стоимость получения одного ЦИ по технологическим схемам рис. 1–3 ориентировочно соотносятся, как 10:5:1, а стоимость оборудования для этих целей соответственно 5:20:1.

На рис. 4 приведены структурные схемы получения ЦИ радиационного контроля в электронном виде по трем описанным технологиям (рис. 1–3).

Общим недостатком первых двух технологий (рис. 1, 2) с промежуточным носителем информации является неочевидность правильности назначенного первичного режима просвечивания, необходимость повторного, подчас неоднократного, просвечивания для нахождения оптимальных значений анодного напряжения, времени экспозиции,

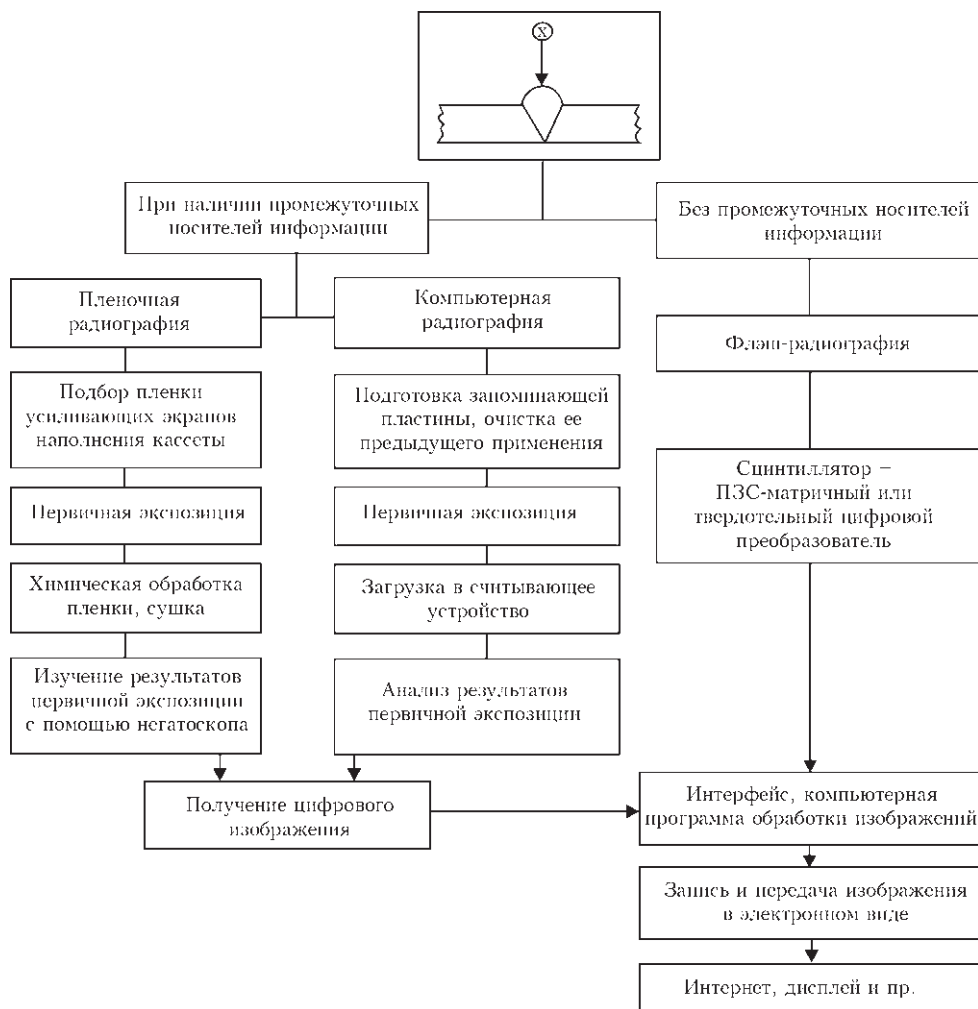


Рис. 4. Структурная схема технологических процедур получения результатов радиационного контроля в электронном виде при пленочной, компьютерной и флэш-радиографии

фокусного расстояния, а также вспомогательных процедур с носителем информации. Обычно оператору при получении для контроля нового, ранее не проходившего к нему объекта, необходимо правильно установить указанные параметры чаще всего подбором, неоднократно, т.е. с повторением всех подготовительных процедур перед просвечиванием. В случае технологии по рис. 3 параметры режима просвечивания могут уточняться в процессе просвечивания, наблюдая за изменениями в изображении на экране монитора. Так находятся оптимальные режимы, производится многоакурсовое изучение образа внутреннего дефекта.

При флэш-радиографии [1] все три параметра или часть из них (U_a, I, t) могут варьироваться, наблюдая за изменениями изображения на экране монитора в реальном времени. Это обстоятельство существенно сокращает время и расходные материалы. Кроме того, собственные артефакты пленок, экранов, запоминающих пластин, кассет в технологиях с промежуточными носителями информации трудно удаляемы и плохо определены. В случае изучения изображения в реальном времени, т.е. по технологии рис. 3, при возможности варьирования параметрами режима контроля артефакты детектора легко выявляются и в дальнейшем исправляются. Имеются алгоритмы работы с электронными изображениями, предусматривающие накопление и вычитание отдельных фрагментов в ЦИ.

Сравнению качества изображения, получаемого от различных детекторных систем, посвящена работа [2] проф. А.А. Майорова. Он отмечает, что для технологий без промежуточных носителей информации разработаны методики калибровки, вычитания собственных шумов преобразователей. Таким образом улучшают контактную чувствительность настолько, что удается отмечать изменения 1/1000 радиационной толщины, тогда как при использовании лучших пленок класса С1 по европейскому EN 584-1 и американскому ASTM E 1815 стандартам может быть достигнут лучший контраст 1/100.

Качество изображения [2] характеризуется многими специфическими показателями:

базовое пространственное разрешение (SRb), измеренное с помощью эталона с двойными проволочками (EN 462-5), и равное половине зарегистрированной нерезкости или эффективному размеру пикселя (в случае технологии по рис. 3). Разрешающая способность определяется расстоянием соседних элементов на изображении. Величина, обратная этому расстоянию, является пространственной частотой, измеряемой в парах линий на мм;

нерезкость изображения, которая имеет многофакторное происхождение из-за геометриче-

ских, проекционных обстоятельств, нерезкости детектора;

отношение сигнал/шум (SNR), которое зависит от экспозиции и качества радиационного тракта. Это отношение увеличивается как корень квадратный из площади работающих пикселей;

отношение контраст/шум (SNR), которое зависит от отношения сигнал/шум детектора и коэффициента поглощения материала объекта;

динамический диапазон. Это толщины объекта, доступные удовлетворительному анализу на одном изображении. Большой динамический диапазон дает существенные преимущества технологиям по схеме рис. 2, 3. Обычно большой динамический диапазон достигается за счет экспозиционной дозы, что в пленочных системах ограничено относительной плотностью почернения 3...4. Далее пленки делаются нечитаемыми. В случае цифровых детекторных систем (без промежуточных носителей) за счет компьютерных технологий «экспозиция», т.е. накопление информации, не имеет ограничений. При этом отношение сигнал/шум (SNR) растет как квадратный корень дозы. Это эквивалентно времени экспозиции или количеству усредненных изображений. Так достигается отношение SNR, равное нескольким тысячам и высокого качества ЦИ. На практике этот процесс ограничивается контрастной чувствительностью 0,1 %, что соответствует SNR порядка 1000.

Таким образом, бесспорно, что будущее за портативным рентгентелевидением без промежуточных носителей информации (запоминающих пластин, пленок и т.п.) с элементами сканирования, изменениями направления прохождения излучения через объект [8–11].

Схемы цифровой обработки ЦИ (рис. 4) независимо от способа их получения практически одинаковые. Они включают операции оценки пригодности ЦИ, измерения интенсивности серого, оптической плотности и определения чувствительности. Цифровая шкала серого 16-битная [6], имеет 65 тыс. оттенков, а гистограмма ЦИ должна лежать примерно по центру этой шкалы, чтобы избежать недоэкспонирования или переэкспонирования. Центральное расположение гистограммы дает возможность более качественной цифровой обработки, т.е. позволяет проводить масштабирование интенсивности серого. Применяется операция калибровки по размеру, которая позволяет измерять дефекты, выполнять другие процедуры, несвойственные традиционной пленочной радиографии.

Выводы

1. Самым информативным, с легко понимаемыми результатами, является радиографический метод



контроля сварных соединений. С помощью этого метода можно достичь разрешения порядка десяти пар линий на мм, что очень важно для обнаружения различных трещин в сварных конструкциях.

2. Одним из серьезных недостатков пленочной радиографии является необходимость в мощных излучателях света (негатоскопах) для того, чтобы увидеть дефекты объекта, зафиксированные рентгеновской пленкой. Причем, чем более темный снимок, тем больше он содержит информации о тонких дефектах. При относительной плотности почернения более 4 снимки делаются практически нечитаемыми. Этому недостатка лишены современные беспленочные технологии, обеспечивающие, кроме того, результат радиационного контроля в электронном виде без специальных оцифровывающих комплексов.

3. Электронная цифровая информация содержит наглядные радиационные изображения внутренних дефектов, расширяет возможности дефектоскопии, уменьшает скорость и стоимость контроля. При этом обеспечивается повышение как точности контроля, так и производительности. Особенно эффективна флэш-радиография [1–3] на основе портативного рентгентелевидения. При этом не требуются промежуточные носители информации (пленки, п/п пластины), используются те же источники излучения, которые применяются при пленочной радиографии. Появляется возможность рассмотрения внутренних дефектов в разных ракурсах, что недоступно другим методам НК.

4. Наиболее перспективной является флэш-радиография на основе портативной рентгентелевизионной техники с цифровыми твердотельными пре-

образователями. При этом может быть достигнута чувствительность до 0,1 % толщины просвечиваемого металла и разрешение, превышающее 10 пар линий на мм. Использование малогабаритных перемещаемых твердотельных преобразователей открывает новые технологические возможности в НК качества сварных соединений.

1. *Троицкий В.А.* Флэш-радиография // Территория ND. – 2013. – октябрь–декабрь. – С. 44–49.
2. *Майоров А.А.* Цифровые технологии в радиационном контроле // В мире неразруш. контроля». – 2009. – № 3. – С. 21–24.
3. *Современные системы радиационного неразрушающего контроля / В.А. Троицкий, С.Р. Михайлов, Р.А. Пастовенский, Д.С. Шило // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2015. – № 1. – С. 23–35.*
4. *Степанов А.В., Ложкова Д.С., Косарина Е.С.* Компьютерная радиография результатов практических исследований возможности замены пленочных технологий. – М.: ВИАМ, 2010. – С. 11–14.
5. *Грудский А.Я., Величко В.Я.* Оцифровка радиографических снимков – это не очень просто // В мире неразруш. контроля. – 2011. – № 4. – С. 32–34.
6. *Особенности применения комплексов цифровой радиографии при неразрушающем контроле корпусного производства / Н.К. Цветкова, К.А. Новицкая, А.В. Кологов, В.Г. Смирнов // Технология машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 47–50.*
7. *Варламов А.Н.* Опыт эксплуатации комплекса цифровой радиографии в полевых условиях // В мире неразруш. контроля. – 2014. – № 63. – С. 25–28.
8. *Майоров А.А.* Рентгеновское телевидение в промышленном НК // Там же. – 2007. – № 1(35). – С. 4–9.
9. *Zscherpel U., Ewert U., Bavendiek K.* Possibilities and Limits of Digital Industrial Radiology: The new high contrast sensitivity technique – Examples and system theoretical analysis. – Lyon, June, 2007.
10. *ГОСТ 27947–88.* Контроль неразрушающий. Рентгено-телевизионный метод. Общие требования. – М., 1988. – 11 с.
11. *ГОСТ 29025–91.* Дефектоскопы рентгентелевизионные. Общие технические требования. – М., 1991. – 12 с.

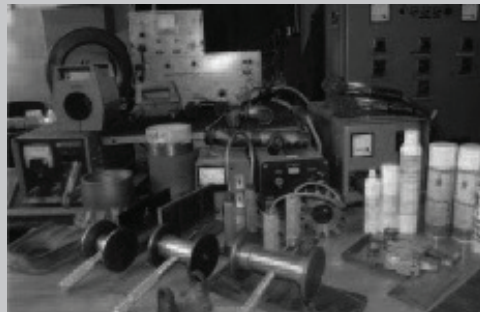
Поступила в редакцию 09.04.2015

Методы и оборудование для неразрушающего контроля сварных соединений и металлоконструкций

Выявление поверхностных и подповерхностных дефектов производится капиллярным, тепловым, магнитопорошковым, вихретоковым и другими методами. Рентгеновская лаборатория института оснащена двумя высоковольтными рентгеновскими аппаратами (РАП-150/300 и «Экставольт-350») для радиографического и рентгентелевизионного контроля сварных и литых конструкций.

Герметичность сварных соединений и замкнутых объемов проверяют: газоаналитическим, манометрическим, пультиметрическим, химическим и другими методами.

Обнаружение средствами компьютеризированного ультразвукового контроля коррозионных повреждений внутренних недоступных сторон трубопроводов, сосудов, реакторов, а также расслоений и массовых скоплений мелких несплошностей внутри металла.



E-mail: office@paton.kiev.ua